

## **Puesta a campo de un prototipo de medición en el viñedo. Evaluación del sensor de temperatura.**

Regina Beatriz Aguilera<sup>1</sup>, Eva Marien Maure Russó<sup>1</sup>, Carlos Alejandro Flores Sterba<sup>1</sup>, Abel Omar Serú<sup>2</sup> y María Isabel Gassmann<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Almirante Brown 500 (5505) Mendoza, Argentina.

<sup>2</sup> Escuela de Comercio Martín Zapata, Universidad Nacional de Cuyo, Av. Pedro Molina y Perú (5500) Mendoza, Argentina.

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Intendente Güiraldes 2160, CABA, 1428, Argentina.

<sup>4</sup> CONICET, Godoy Cruz 2290, CABA, 1425, Argentina  
raguilera@fca.uncu.edu.ar

**Resumen.** El bajo costo de utilizar tecnologías de hardware y software libre, tales como Arduino, se convirtió en una alternativa interesante para automatizar el monitoreo de variables meteorológicas a campo. Contar con una estación meteorológica comercial en el lugar de estudio permitió verificar la fiabilidad de los valores medidos por equipos basados en estas tecnologías. En este trabajo se presenta la puesta a campo y evaluación de la performance de las mediciones de temperatura del prototipo de medición del proyecto “Sistema de Monitoreo de variables meteorológicas basados en la plataforma Arduino para la zonificación y manejo diferencial del viñedo” de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Las mediciones del prototipo fueron comparadas contra las de una estación comercial ubicada en el mismo cuartel obteniendo una alta correlación y medidas de distancia entre ambas aceptables (MBE de 0.22°C y RMSE de 0.76°C).

**Keywords:** Arduino, Monitoreo, Agrometeorología.

### **1 Introducción**

La toma manual de datos a campo requiere de la disponibilidad de recursos humanos entrenados para realizar mediciones, cuya frecuencia generalmente termina siendo baja debido al esfuerzo que implica. La automatización por medio de electrónica comercial ayuda en este aspecto a costa de un incremento en los costos de equipamiento [1]. Arduino es una plataforma de hardware y software libre creada en 2005, basada en la utilización de una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios [2]. Trabajos anteriores en diversas partes del mundo evidencian el uso de estas tecnologías para la adquisición automatizada de datos a campo haciendo esta labor más accesible [3]. Kondaveeti et al. (2021) publicaron una revisión sistemática de la literatura sobre la creación de prototipos con Arduino en diversas

disciplinas, encontrando alrededor de 130 estudios, todos revisados por pares y publicados entre 2015 y 2020. En particular para mediciones meteorológicas, Ham (2013) [5] encontró una excelente concordancia entre los sistemas basados en Arduino y los instrumentos comerciales.

Una variabilidad espacial del clima puede ser observada sobre pequeños espacios. La temperatura del aire varía espacialmente acorde a las diferencias de topografía presentes. Esta variable es un elemento meteorológico/climático fundamental, ya que permite cuantificar las unidades de calor requeridas por las plantas para crecer y desarrollarse [6]. El seguimiento de los grados días permite estudiar el desenvolvimiento de las diferentes fases fenológicas del cultivo facilitando al productor la posibilidad de programar con cierto grado de previsión distintas tareas en los lotes productivos. Los viñedos típicos del Valle de Uco (Mendoza, Argentina), origen de vinos de alta calidad enológica, se encuentran en zonas de altura, con diferencias de pendiente. En este contexto es deseable disponer de una alta densidad de puntos de medición. Contar con una tecnología de bajo costo permite tener varios puntos de monitoreo que contribuyan a la diferenciación de zonas dentro del viñedo. En este trabajo se analizaron los datos de temperatura que a futuro serán utilizados para estudiar su relación con las fases fenológicas de los viñedos bajo estudio.

El objetivo de este trabajo es evaluar el desempeño de las mediciones de temperatura registrada por el sensor DHT22 del sistema de medición basado en tecnología Arduino presentado anteriormente en el CAI2020-JAII049, como alternativa de herramienta de monitoreo de bajo costo para implementar varios puntos de medición de esta variable en el viñedo. Convirtiéndose en un antecedente de uso de esta tecnología accesible en esta región de agricultura de tipo intensiva.

## **2 Materiales y métodos**

### **2.1 Descripción de ubicación y características del viñedo**

El lugar elegido para las mediciones a campo fue un viñedo ubicado en Gualtallary, Tupungato, Mendoza, Argentina (33° 24' 31" latitud Sur; 69° 12' 56" longitud Oeste). El sistema de conducción de la producción fue de espaldera con distancia entre hileras de 2.4 m y claros de 7.5 m.

La zona es caracterizada por una fuerte continentalidad que propicia grandes amplitudes térmicas, deseables para la producción de ciertas sustancias en las uvas, materia prima de vinos de alta calidad enológica. La topografía no es homogénea, lo que genera diferencias en el microclima en distintas zonas del viñedo. También posee heterogeneidad en la profundidad de suelo que sumado a la variabilidad del microclima mencionada, producen un desenvolvimiento de las plantas diferencial en una misma propiedad.

En el viñedo funcionaba una estación meteorológica automática comercial iMetos 3.3 (Pessl Instruments, Austria), alimentada por un panel solar y una batería para las horas nocturnas. Esta estación mide, registra y envía datos de: temperatura y humedad del aire a 2.0 m de altura, radiación solar global, precipitación, velocidad y dirección del viento al servicio de “cloud computing” de FieldClimate (<https://ng.fieldclimate.com/>). Los usuarios tienen acceso a los datos a través de aplicaciones web y móviles. Se pueden visualizar datos con una frecuencia de medición mínima de 10 minutos, promedios horarios, diarios y mensuales. Los datos de temperatura medidos con esta estación fueron utilizados para evaluar los medidos por el prototipo diseñado en el proyecto “Monitoreo de variables meteorológicas para la diferenciación del viñedo” [7].

## 2.2 Características del equipamiento utilizado

El prototipo del módulo de registro fue instalado en el mismo cuartel donde se encontraba ubicada una estación comercial con la que contaba la propiedad, a una distancia de un claro (7.5 m), sin desnivel en el terreno. Ambos abrigos meteorológicos, donde se ubicaron los sensores de temperatura, situados a 2 metros de altura.

El prototipo, contó con una placa Arduino Nano con un microcontrolador de 8 bits ATmega328P-AU y reloj de 16MHz de origen chino; un “*shield*” de expansión compatible para facilitar la conexión de sensores y módulos y un módulo Bluetooth HC-05 con las especificaciones del estándar Bluetooth 2.0. Los datos se almacenaron mediante una tarjeta de interfaz utilizando una memoria micro SD y a su vez también fueron recuperados desde un teléfono inteligente con tecnología Bluetooth 2.0 o superior y una aplicación de terminal Bluetooth.

Para medir temperatura del aire se utilizó el sensor DHT22 a diferencia del sensor DHT11 presentado en el prototipo original [7]. Ambos sensores digitales de origen chino, poseen la capacidad de interactuar con la placa controladora asociada al mismo mediante el protocolo “*1 Wire*”. Esto permite la utilización de un único puerto entrada/salida (E/S) para el envío de consultas y para la recepción de datos desde el sensor, pero el DHT22 mejora el rango de medición y la precisión. En el caso del DHT11 el rango de medición de temperatura va desde 0°C a los 50°C, con una precisión de 2°C. Por otro lado, el DHT22 tiene un rango de medición entre -40°C y 80°C, con una precisión de 0.5°C. El sensor contó con un abrigo de protección para la radiación solar, que se colocó a 2 m de altura.

La alimentación del prototipo se basó en la utilización de baterías recargables de litio, y el encargado de la finca fue el responsable de cambiarlas periódicamente. En cuanto al aspecto operativo, se ha priorizado la estabilidad de los procesos de control, medición, registro y comunicación, en articulación estricta con el óptimo consumo y régimen de trabajo de las baterías. Se incorporaron tecnología de software y hardware para el encendido controlado de periféricos internos, así como externos, lo cual propicia una mayor autonomía y duración de las baterías empleadas.

### 2.3 Extracción y procesamiento de datos

Los datos del prototipo fueron registrados cada 15 minutos, recogidos a partir de la vinculación vía *Bluetooth* con un *smartphone* y también almacenados en una unidad de memoria SD. Los datos se almacenaron en código ASCII en archivos digitales con formato *csv*. Los archivos fueron posteriormente trabajados en planillas de cálculo. Se obtuvieron los promedios horarios (serie horaria) y promedios diarios (serie diaria) de temperatura (T) de la estación prototipo a fin de contrastar las mediciones observadas por cada sistema considerando como referencia los valores de la estación comercial. Se calculó la diferencia entre las mediciones de ambas tecnologías. Las mediciones se realizaron entre el 2 de octubre y el 11 de noviembre de 2020.

### 2.4 Análisis estadístico

Para las dos series horarias de temperatura (T *iMetos* y T prototipo) y para la diferencia entre ambas, se calcularon los siguientes estadísticos descriptivos: media, mediana, desvío estándar (DE), valores máximos (Max.), mínimos (Min.) y coeficiente de variación (CV). Se aplicaron test de hipótesis (prueba t de Student con una significancia del 0.05%) para corroborar si los estadísticos encontrados para T *iMetos* y para T prototipo fueron significativamente diferentes entre sí o no a escala horaria.

Luego se testearon bajo la misma prueba estadística los valores de temperatura media (Tmed) a partir de las series horarias y también con las series diarias. Las temperaturas máximas (Tmax) y mínimas (Tmin) se evaluaron a partir de los valores diarios.

A fin de evaluar las diferencias entre mediciones, se calculó el coeficiente de correlación (CC) entre ambas series y medidas de distancia entre ambas como el desvío medio (MBE, por sus siglas en inglés), la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE). Las ecuaciones de estos estadísticos pueden encontrarse en Aguilera (2018) [8].

## 3 Resultados y discusión

### 3.1 Análisis de datos de temperatura del aire

Los datos registrados por el prototipo presentaron datos faltantes (9%), ocasionados principalmente por falta de alimentación en el equipo.

Los valores de los estadísticos descriptivos analizados (media, mediana, DE, Max. y Min.) para las dos series horarias de temperatura (T *iMetos* y T prototipo) y las diferencias de temperatura entre ambas, expresados en grados Celsius (°C), son los presentados en la Tabla 1. Los valores encontrados muestran diferencias pequeñas entre los estadísticos de ambas series temporales, así como en la serie diferencias. En

ambas estaciones la variabilidad que presentan los datos es similar, siendo el CV% de 41.96% para T iMetos y de 43.74 % para T prototipo.

**Tabla 1.** Estadísticos descriptivos para la temperatura del aire horaria en °C medida por la estación iMetos (T iMetos), por el prototipo (T prototipo) y para la diferencia entre ambos.

	T iMetos	T prototipo	Diferencia
Media (°C)	16.51	16.73	0.22
Mediana (°C)	16.44	16.27	0.05
DE (°C)	6.93	7.32	0.73
Max. (°C)	30.48	31.07	2.66
Min. (°C)	-0.25	-0.90	-1.26

Los test de hipótesis para corroborar si los estadísticos encontrados para T iMetos y para T prototipo fueron significativamente diferentes entre sí o no, con un nivel de significancia del 0.05%, arrojaron para toda la serie horaria de datos que las temperaturas medias calculadas por ambas estaciones fueron iguales, al igual que la homogeneidad de la varianza. En cuanto a los valores diarios de temperatura media, mínima y máxima también se aceptó la hipótesis de igualdad de los valores de temperatura entre ambas series y en la homogeneidad de la varianza. En la Tabla 2 se presentan los p-valor de las pruebas de contraste de hipótesis realizadas.

**Tabla 2.** p-valor de las pruebas de contraste de hipótesis realizadas (t de Student).

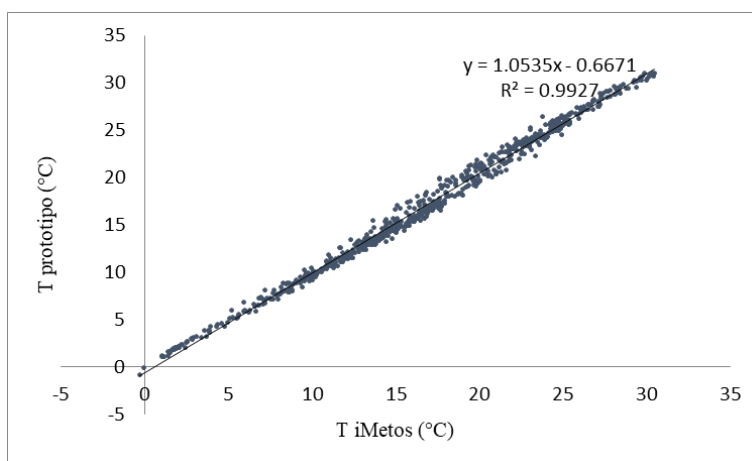
Contraste	p-valor
Temperatura horaria	0.5577
Temperatura media diaria	0.9113
Temperatura máxima diaria	0.6510
Temperatura mínima diaria	0.7494

El coeficiente de correlación entre ambas series de temperatura fue de 1.00, indicando un alto grado de concordancia entre las mediciones de ambas estaciones automáticas. Los errores se muestran en la Tabla 3. Estos resultados indicaron bajas diferencias entre ambos sistemas de medición, inferiores a 1°C, coincidiendo con lo encontrado por Mesas-Carrascosa (2015) al comparar mediciones de temperatura tomados por una estación basada en Arduino y una estación meteorológica automática comercial.

**Tabla 3.** Coeficiente de correlación (CC), desvío medio (MBE), la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE) entre T iMetos y T prototipo.

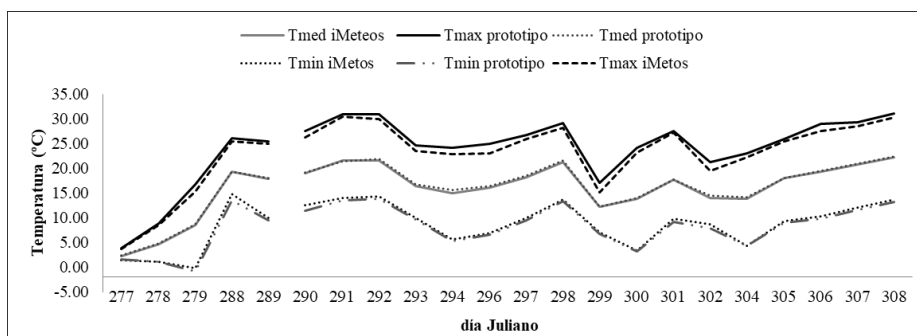
CC	RMSE (°C)	MBE (°C)	MAE (°C)
1.00	0.76	0.22	0.61

En la Figura 1 se muestra el gráfico de dispersión al comparar las dos series de temperatura, donde se observa una gran linealidad en la relación entre ambas y poca dispersión en los valores medidos.



**Fig. 1.** Gráfica de dispersión entre los valores horarios de temperatura registrados por T iMetos (°C) y T prototipo (°C).

En las Figura 2 se muestran las series temporales de temperatura media, mínima y máxima diarias de ambas estaciones, durante el 4 de octubre al 4 de noviembre de 2020. Se observa la casi perfecta superposición de ambas curvas para la media, una pequeña subestimación para la mínima y sobrestimación para la máxima no detectables estadísticamente.



**Fig. 2.** Valores de temperatura media (Tmed), temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínimas (Tmin) diarias para ambas estaciones entre el 4 de octubre (día juliano 277) y el 4 de noviembre (día juliano 308).

## 4 Conclusiones

La estación prototipo con tecnología Arduino ha demostrado como primera evidencia, tener una buena performance en sus mediciones de temperatura a campo al comparar los promedios horarios y diarios con una estación comercial, en el tiempo de mediciones considerado (octubre/noviembre). No obstante se aconseja continuar la evaluación con un mayor número de mediciones a futuro. Esto permitirá utilizar esta tecnología más accesible en cuanto a costo económico, que contribuye a diferenciar el viñedo tanto para realizar labores diferenciadas, como aportar a la caracterización climática requerida para describir los vinos de alta calidad que allí se originan.

## Referencias

1. Fisher, D. K., Gould P. J.: Open-source hardware is a low-cost alternative for scientific instrumentation and research. *Modern Instrumentation*, 1: 8-20 (2012).
2. Lledó Sánchez, E: Diseño de un sistema de control domótico basado en la plataforma Arduino. Tesis de maestría. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España (2012).
3. Wickert, A. D. The ALog: Inexpensive, open-source, automated data collection in the field. *The Bulletin of the Ecological Society of America* 95 (2014) 2: 166-176 .
4. Kondaveeti, H. K., Kumaravelu, N. K., Vanambathina, S. D., Mathe, S. E., & Vappangi, S.. A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. *Computer Science Review*, 40, 100364 (2021).
5. Ham, J. M. Using Arduinos and 3D-printers to build research-grade weather stations and environmental sensors. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (2013) H43H-1573.
6. Lowry, WP y Lowry, PP. *Fundamentals of biometeorology. Volume II: The biological environment.* Peavine Publication, USA. (2001) 680.
7. Aguilera, R. B., Flores, C. A., & Serú, A. O. Monitoreo de variables meteorológicas para la diferenciación del viñedo. In *XII Congreso de AgroInformática (CAI 2020)-JAIIO 49 (Modalidad virtual)* (2020).
8. Aguilera, R. B. Calibración de la ecuación de Hargreaves para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>) en el Oasis Norte de Mendoza, Argentina. (Tesis de Maestría. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.). Recuperado de [http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis\\_n6468\\_Aguilera](http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6468_Aguilera). (2018).
9. Mesas-Carrascosa, F. J., Santano, D. V., Meroño, J. E., De La Orden, M. S., & García-Ferrer, A. Open source hardware to monitor environmental parameters in precision agriculture. *Biosystems engineering*, (2015) 137, 73-83.